

論文の内容の要旨

論文題目	学習分類子システムにおける不確実性を伴うデータからの知識獲得メカニズムの設計
学 位 申 請 者	辰 巳 嵩 豊

本論文では、データマイニング手法の一つである学習分類子システム (Learning Classifier System: LCS) において、知識獲得が困難な不確実性を伴うデータから知識 (データの規則性) を獲得する手法を提案し、その有効性を検証することを目的とする。その実現に向け、データが伴う不確実性を (i) 入出力における不確実性と (ii) 分類判定の信憑性における不確実性に大別し、それらに対処可能なメカニズムを考案するとともに、従来手法である正確性に基づく学習分類子システム (Accuracy-based Learning Classifier System: XCS) に組み込み、評価実験を通して不確実性の種類を限定しないメカニズムの設計を目指す。本論文は全10章で構成され、その内容の要旨は以下のとおりである。

第1章では、本研究における背景として分類問題に用いられる従来手法を紹介し、その中でLCSは解釈性の高い知識を獲得する手法と位置づける。さらに、データに不確実性を伴った場合の知識獲得における影響を述べ、本研究における目的を記す。

第2章では、本研究が扱う不確実性について説明する。具体的には、不確実性の種類を (i) 入出力における不確実性と (ii) 分類判定の信憑性における不確実性に分け、それぞれの学習に対する影響を述べるとともに、不確実性を伴うデータに対する従来の対処法についてまとめる。

第3章では、データマイニングの観点から、LCSと一般的な機械学習の関係を明確にし、LCSの特徴を個体表現、学習戦略、対象とする問題を通して説明する。続いて、LCSの中でも分類子の一般化性能が高いXCSに着目し、そのアーキテクチャと学習メカニズムについて説明する。

第4章では、LCSのベンチマーク問題であるMultiplexer問題について説明し、本研究で扱う (i) 入出力における不確実性、(ii) 分類判定の信憑性における不確

実性をMultiplexer問題上で模擬する方法、及び、その問題における評価基準について述べる。

第5章では、入出力における不確実性に対応可能な学習分類子システムとして、推測報酬に基づく学習分類子システム(XCS based on Estimated Reward: XCS-ER)を提案する。続いて、XCSからの変更点である報酬推測機構とそれに関連するパラメータ更新、及び、包摂判定について説明する。さらに、入出力における不確実性を伴うMultiplexer問題にXCSとXCS-ERを適用し、XCS-ERが適切に知識を獲得可能であることを示す。

第6章では、分類判定の信憑性における不確実性に対応可能な学習分類子システムとして、報酬の範囲に基づく学習分類子システム(XCS based on Range of Reward: XCS-RR)を提案する。続いて、XCSからの変更点である正確とみなす分類子の分類判定基準とそれに関連するパラメータ更新、及び、包摂判定について説明する。さらに、分類判定の信憑性における不確実性を伴うMultiplexer問題にXCSとXCS-RRを適用し、XCS-RRが適切に知識を獲得可能であることを示す。

第7章では、入出力及び分類判定の信憑性における不確実性に対応可能な学習分類子システムとして、報酬の組分けに基づく学習分類子システム(XCS based on Reward Group: XCS-RG)、及び、正誤推測に基づく学習分類子システム(XCS based on Estimated Correctness: XCS-EC)を提案する。続いて、XCS-RGのXCSからの変更点であるRecording tableとそれに関連するパラメータ更新、及び、包摂判定、XCS-ECのXCSからの変更点である報酬推測機構とそれに関連するパラメータ更新、及び、包摂判定について説明する。さらに、入出力及び分類判定の信憑性における不確実性を伴うMultiplexer問題にXCSとXCS-RG及びXCS-ECを適用し、XCS-RG及びXCS-ECが適切に知識を獲得可能であることを示す。

第8章では、実問題を想定し、複数種類の入出力における不確実性を同時に発生した場合、及び、分類判定の信憑性における不確実性が正規分布以外の分布である場合に、4種類の提案LCSを適用し、提案LCSの得意とする不確実性の種類やその特徴を整理する。

第9章では、第5章から第7章までの結果から、不確実性に対応可能な学習分類子システムの設計論について述べるとともに、適用範囲を明らかにする。

最後に、第10章では上記の各章で得られた知見をまとめ、本研究の成果について述べるとともに、今後幅広い問題に適用する上での課題を述べる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 辰巳 嵩豊

審査委員主査 高玉 圭樹

委員 西野 哲朗

委員 田野 俊一

委員 庄野 逸

委員 佐藤 寛之

本論文は学習分類子システム (Learning Classifier System: LCS) において、知識獲得が困難な不確実性を伴うデータから知識を獲得する手法を提案し、正確性に基づく学習分類子システム (Accuracy-based Learning Classifier System: XCS) 上に組み込み、評価実験を通して不確実性の種類を限定しないメカニズムの構築とその有効性を検証するものである。

第1章では、LCSの分類問題における位置づけを述べるとともに、不確実性を伴う場合における知識獲得への影響とLCSの限界を指摘し、不確実性を伴っても適切に知識を獲得することの重要性と研究目的を述べている。

第2章では、本論文が扱う不確実性について概観している。具体的には、不確実性の種類を (i) 入出力における不確実性、(ii) 分類判定の信憑性における不確実性に分け、それぞれの不確実性を伴うデータから規則性を見出すときの影響をまとめるとともに、LCSと従来手法の対処法について述べている。

第3章では、LCSについて俯瞰した視点で説明している。具体的には、LCSの種類を分けることに加え、LCSの特徴について整理している。また、提案手法の基になる正確性に基づく学習分類子システム (XCS) は、LCSの中で分類子の一般化性能が高いことを述べるとともに、XCSのアーキテクチャとメカニズムについてまとめている。

第4章では、不確実性を伴う場合における有効性を検証するためのテストベッド問題について説明している。具体的には、LCSのベンチマーク問題であるMultiplexer問題について説明し、本論文で扱う各種不確実性をMultiplexer問題上で模擬する方法と評価基準について述べている。

第5章では、入出力における不確実性に対応可能な学習分類子システムである推測報酬に基づく学習分類子システム (XCS based on Estimated Reward: XCS-ER) を提案し、その有効性を検証している。具体的には、入出力における不確実性を伴うMultiplexer問題上で、従来手法のXCSと提案手法のXCS-ERの結果を比較し、XCSでは困難な知識獲得をXCS-ERでは実現していることを示している。これより、入出力における不確実性には、尤もらしい報酬を推測し採用することが有用であると述べている。

第6章では、分類判定の信憑性における不確実性に対応可能な学習分類子システムである報酬の範囲に基づく学習分類子システム (XCS based on Range of Reward: XCS-RR) を提案し、その有効性を検証している。具体的には、分類判定の信憑性における不確実性を伴うMultiplexer問題上で、従来手法のXCSと提案手法のXCS-RRの結果を比較し、XCSでは困難な知識獲得をXCS-RRでは実現していることを示している。これより、分類判定の信憑性における不確実性には、複数の報酬をまとめて同一とみなすことが有用であると述べている。

第7章では、入出力及び分類判定の信憑性における不確実性に対応可能な学習分類子システムである報酬の組分けに基づく学習分類子システム (XCS based on Reward Group: XCS-RG) と、正誤推測に基づく学習分類子システム (XCS based on Estimated Correctness: XCS-EC) の2つを提案し、それらの有効性を検証している。具体的には、入出力及び分類判定の信憑性における不確実性を伴うMultiplexer問題上で、従来手法のXCSと提案手法のXCS-RGとXCS-ECの結果を比較し、XCSでは困難な知識獲得をXCS-RGとXCS-ECでは実現していることを示している。これより、入出力及び分類判定の信憑性における両方の不確実性は、第5章及び第6章で提案されたメカニズムの組み合わせによって対処可能であると述べている。

第8章では、提案LCSの特徴を明確にするために、複数種類の不確実性を同時に伴う場合や、不確実性の分布の形状を変えた場合における提案LCSの性能を分析している。さらに、提案LCSごとに知識獲得しやすい不確実性の種類やその特徴について論じている。

第9章では、これまでに得られた結果から、不確実性に対応可能な学習分類子システムの設計論について述べているとともに、適用範囲を論じている。さらに、提案メカニズムの使い分けを示している。

最後に、第10章では上記の各章で得られた知見をまとめ、本研究の成果についてまとめている。また、今後実問題へと適用する上での課題を述べている。

以上のように、本論文は不確実性を伴う場合における知識獲得のための設計論を明らかにするとともに、LCSの学習性能の改善に大きく寄与するものである。したがって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものであると認める。